



Massimo Mazza (banjoman)

Level shifter passivi e attivi

5 March 2025

In questo periodo sto lavorando con l'ADC di un micro e ovviamente mi sono trovato nella condizione di dover interfacciare segnali di ingresso aventi intervalli di escursione che non rientrano nel canonico intervallo 0 - Vref (dove Vref è la tensione di riferimento per l'ADC); in pratica l'ADC converte il segnale d'ingresso V_{in} in modo che per $0 \leq V_{in} \leq V_{ref}$ viene generato un valore digitale compreso tra 0 e 4095 se consideriamo un ADC a 12 bit.

Ovviamente in tali casi è praticamente d'obbligo pensare di utilizzare uno o più op-amp per condizionare in maniera opportuna il segnale da convertire, ovvero traslarlo di livello, amplificarlo ecc..

Vi sono però dei casi in cui un op-amp non è assolutamente necessario: se l'escursione del segnale è maggiore dell'escursione massima richiesta in ingresso all'ADC, sarà sufficiente una semplice rete resistiva come quella illustrata di seguito per ottenere il risultato voluto.

[Sorgente FidoCadJ](#) | [Ingrandisci](#) | [Cos'è FidoCad](#)

Supponiamo di avere un segnale con escursione tra -20 V e + 20 V e di volerlo far rientrare nel range 0 - 5 V del micro; è un caso abbastanza comune, e ancora più comune sarebbe un range 0-3.3 V per i micro più recenti.

Ricaviamo l'espressione per V_o :

$$V_o = \frac{V_i \cdot R_1 \cdot R_2 + 5 \cdot R_i \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 + R_i \cdot R_2 + R_1 + R_i \cdot R_2}$$

Ho volutamente ommesso i passaggi intermedi, che lascio come esercizio per gli studenti; di fatto tale circuito è forse poco utilizzato perché richiede un po' di manipolazioni algebriche (e un sistema di due equazioni in due incognite per il caso più generale, come vedremo in seguito) e molti progettisti diventano, diciamo, "pigri" quando si tratta di fare qualche sforzo in più...

Risolvi l'espressione precedente in termini di R_1 e R_2 :

$$R_1 = \frac{\left(V_o - 5 \right) \cdot R_i \cdot R_2}{V_i \cdot R_2 - V_o \cdot \left(R_i + R_2 \right)} \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{V_o \cdot R_1 \cdot R_i}{V_i \cdot R_1 + 5 \cdot R_i - V_o \cdot (R_i + R_1)} \quad (2)$$

Supponiamo inoltre che R_i sia nota; la possiamo anche imporre noi a un valore noto se il generatore V_i ha una resistenza interna molto bassa (decine di ohm o anche meno, se nel caso di un op-amp), l'importante è che abbia un valore congruo. Per il nostro caso imponiamo $R_i = 4.7 \text{ k}\Omega$.

La prima cosa interessante da notare è che se si desidera $V_o = 0 \text{ V}$ quando V_i è al suo minimo, come -20 V , allora è possibile risolvere la (1) per R_1 senza dover conoscere R_2 perché si riduce in questo modo:

$$R_1 = \frac{(0 - 5) \cdot R_i \cdot R_2}{V_i \cdot R_2 - 0 \cdot (R_i + R_2)}$$

$$= \frac{-5 \cdot R_i \cdot R_2}{V_i \cdot R_2}$$

$$= -5 \cdot \frac{R_i}{V_i}$$

E questo è un risultato piuttosto interessante!

Finché $V_{i\min} < 0 \text{ V}$, si può ottenere un valore realistico di R_1 senza preoccuparci di R_2 , solo nel caso particolare in cui $V_o = 0 \text{ V}$.

Avendo quindi $R_i = 4.7 \text{ k}\Omega$ e $V_{i\min} = -20 \text{ V}$, segue che $R_1 = 1.175 \text{ k}\Omega$.

Facile no? E ora che conosciamo R_1 , possiamo usare l'espressione (2) per ricavare R_2 , nel caso in cui $V_{i\max} = +20 \text{ V}$, ottenendo $R_2 = 1.56 \text{ k}\Omega$.

Se usiamo dei valori standard per i resistori, $R_1 = 1.2 \text{ k}\Omega$ e $R_2 = 1.5 \text{ k}\Omega$, otteniamo $V_o \approx -51 \text{ mV}$ quando $V_i = -20 \text{ V}$ e $V_o \approx 4.9 \text{ V}$ quando $V_i = 20 \text{ V}$.

La resistenza complessiva "vista" da V_i vale:

$$R'_i = R_i + R_1 \parallel R_2$$

nel nostro caso, $R_L \approx 5.36 \text{ k}\Omega$

Una soluzione generale

Si può generalizzare il risultato ottenuto per ottenere un level shifter passivo che attenui e riconduca il segnale entro due livelli stabiliti, con il seguente circuito:

[Sorgente FidoCadJ](#) | [Ingrandisci](#) | [Cos'è FidoCad](#)

V_{CC} e V_{EE} sono due tensioni di riferimento, la prima positiva e la seconda negativa. Il segnale desiderato in uscita sarà $V_{EE} < V_o < V_{CC}$.

Assumendo R_i nota (la imponiamo noi di valore adeguato) possiamo allora ricavare R_1 e R_2 risolvendo un sistema di due equazioni in due incognite, così:

$$\begin{cases} \frac{R_{in}}{(R_1 + R_2) + R_1 R_2} (R_1 V_{EE} + R_2 V_{CC}) + R_1 R_2 V_{imin} \\ \frac{R_{in}}{(R_1 + R_2) + R_1 R_2} (R_1 V_{EE} + R_2 V_{CC}) + R_1 R_2 V_{imax} \end{cases} = V_{Omin} \\ \begin{cases} \frac{R_{in}}{(R_1 + R_2) + R_1 R_2} (R_1 V_{EE} + R_2 V_{CC}) + R_1 R_2 V_{imin} \\ \frac{R_{in}}{(R_1 + R_2) + R_1 R_2} (R_1 V_{EE} + R_2 V_{CC}) + R_1 R_2 V_{imax} \end{cases} = V_{Omax} \end{cases}$$

Dove V_{omin} e V_{omax} sono i valori minimo e massimo desiderati della tensione in uscita.

Come esempio pratico, supponiamo di avere:

$$V_{CC} = +5V$$

$$V_{EE} = -5V$$

$$R_{in} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$V_{imin} = +1.5V$$

$$V_{imax} = +10.5V$$

Questo è un segnale a dente di sega proveniente da una base tempi di un mio oscilloscopio che desidero campionare con l'ADC di un micro. Il segnale di uscita lo si vuole compreso tra $0V$ e $3.3V$. Risolvendo il sistema si ottiene:

$$R_1 = 14 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 9.9 \text{ k}\Omega$$

Si noti che, avendo V_{imin} un valore positivo, e' necessaria una V_{EE} negativa, onde poter "tirare giu" il valore di V_{omin} a zero.

Se infatti ponessimo $V_{EE} = 0$, la risoluzione del sistema fornirebbe come risultato:

$$R_1 = -33.3 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 4.9 \text{ k}\Omega$$

Il valore negativo di R_1 indica chiaramente che non è possibile ottenere $V_{omin} = 0$ avendo a disposizione una V_{EE} di 0 V !

Per non alterare il comportamento del traslatore di livello è consigliabile farlo seguire da un semplice buffer a guadagno unitario, per mettersi al riparo da eventuali sorprese, a meno che l'impedenza di ingresso dell'ADC sia sufficientemente elevata in modo da non caricare eccessivamente il partitore.

[Sorgente FidoCadJ](#) | [Ingrandisci](#) | [Cos'è FidoCad](#)

Sempre per lo stesso motivo, la resistenza di uscita della sorgente V_i dovrà essere minore di almeno un fattore 10 rispetto a R_i onde evitare di alterare troppo il funzionamento del partitore.

Quando un op-amp si rende necessario...

Un altro esempio pratico, sempre riguardante un mio progetto, è questo:

Come esempio pratico, supponiamo di avere:

$$V_{CC} = +5V$$

$$V_{EE} = 0V$$

$$R_{in} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$V_{imin} = -80mV$$

$$V_{imax} = +1.11V$$

Si noti che ho scelto $V_{EE} = 0$ perché il segnale da convertire ha un valore minimo *negativo*.

Imponendo sempre $R_i = 10k\Omega$ e risolvendo il sistema otteniamo i valori:

$$R_1 = 625 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = -15.26 \, k \, \Omega$$

Oops! La seconda resistenza è negativa! Il motivo è presto detto: un partitore può solo attenuare un segnale, ma non amplificarlo.

In questo caso è gioco forza utilizzare un op-amp, dato che il valore massimo del segnale in ingresso (1.11 V) lo si desidera amplificare fino a 3.33 V.

Una possibile realizzazione circuitale potrebbe essere la seguente:

[Sorgente FidoCadJ](#) | [Ingrandisci](#) | [Cos'è FidoCad](#)

Vi risparmio in questo caso i dettagli dei calcoli fatti, che potete trovare nell'application note della TI "[Single Supply Op Amp Techniques](#)" che illustra e spiega molto bene tutte le casistiche possibili con un approccio sistematico e ordinato.

Termino qui questo mio breve articolo, sperando di avervi proposto spunti utili per i vostri progetti!

Estratto da "<https://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Banjoman:level-shifter-passivo>"